

การแยกเซลล์ *Alcaligenes eutrophus* ATCC 17697 ที่มีพอลิ-ปีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรต  
จากน้ำหมักโดยเครื่องกรองระดับอนุภาครูปทรงกระบอกชนิดหมุนได้

นางสาว จันทพร ปุณณรัตน์กุล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-732-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SEPARATION OF *Alcaligenes eutrophus* ATCC 17697 CELLS CONTAINING  
POLY- $\beta$ -HYDROXYBUTYRATE FROM FERMENTATION BROTH  
BY A ROTATING CYLINDRICAL MICROFILTER

Miss Jantaporn Poonnaratanakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-636-732-3

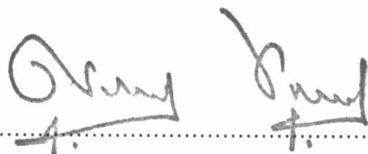
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การแยกเซลล์ Alcaligenes eutrophus ATCC 17697 ที่มีพอลิ-ปีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรต จากน้ำหมักโดยเครื่องกรองระดับอนุภาค  
รูปทรงกระบอกชนิดหมุนได้

โดย นางสาว จันทพร ปุณณรัตน์กุล


ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

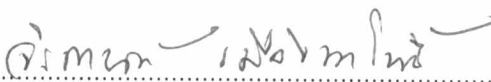
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์

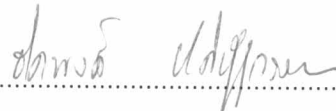
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

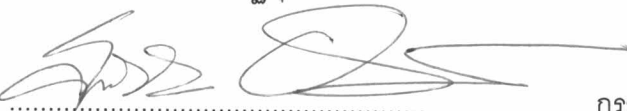
  
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นพ. ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สุวัฒนา พวงเพิกคิก)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)

  
.....กรรมการ  
(ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ)

  
.....กรรมการ  
(ดร. สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์)



จันทพร ปุณณรัตน์กุล : การแยกเซลล์ Alcaligenes eutrophus ATCC 17697 ที่มีพอลิ-  
 บีตา-ไฮดรอกซีบิวทิเรต จากน้ำหมักโดยเครื่องกรองระดับอนุภาครูปทรงกระบอกชนิดหมุนได้  
 (SEPARATION OF Alcaligenes eutrophus ATCC 17697 CELLS CONTAINING POLY-  
 $\beta$ -HYDROXYBUTYRATE FROM FERMENTATION BROTH BY A ROTATING  
 CYLINDRICAL MICROFILTER) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์, 229 หน้า.  
 ISBN 974-636-732-3.

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อกระบวนการแยกเซลล์จุลินทรีย์ Alcaligenes eutrophus ATCC 17697 ด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้ ขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ความเข้มข้นของสารป้อน (2 7 และ 10 กรัมต่อลิตร) ความดัน (17 34 44.2 และ 51 กิโลปาสคาล) / จำนวนรอบการหมุนของเยื่อแผ่น (0 500 900 1200 และ 1500 รอบต่อนาที) ระยะห่างของผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านในเท่ากับ 7.25 มิลลิเมตร ทำการทดลองที่อัตราการป้อนน้ำหมักเท่ากับ 0.013 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารป้อนจะทำให้ความต้านทานการกรองเนื่องจากการอุดตันของอนุภาคมีค่าสูงขึ้น ค่าเพอมีเอชันฟลักซ์จะมีค่าลดลง การเพิ่มค่าเพอมีเอชันฟลักซ์จะสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนรอบการหมุนของเยื่อแผ่น ซึ่งเป็นการเพิ่มแรงเฉือนที่ผิวเยื่อแผ่นกวาดอนุภาคที่เกาะบริเวณผิวให้หลุดออก ทำให้ความต้านทานการกรองเนื่องจากการอุดตันมีค่าน้อยลง การเพิ่มความดันในระบบการกรองที่เยื่อแผ่นอยู่กับที่จะมีผลให้ค่าเพอมีเอชันฟลักซ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเกิดโพลาไรเซชันอย่างรวดเร็ว ในขณะที่การกรองโดยเครื่องกรองชนิดหมุนได้สามารถควบคุมการอุดตันของอนุภาคได้ดี นอกจากนี้ยังพบว่า การกรองแบบไม่ต่อเนื่องที่ภาวะเซลล์เข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที ความดัน 34 กิโลปาสคาล เมื่อทำการทดลองนาน 90 นาที จะทำให้เซลล์เข้มข้นขึ้น 3 เท่า

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา ..... 2539

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....



## C717967 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: PHB / ROTATING MICROFILTRATION

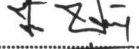
JANTAPORN POONNARATANAKUL : SEPARATION OF Alcaligenes eutrophus ATCC 17697 CELLS CONTAINING POLY- $\beta$ -HYDROXYBUTYRATE FROM FERMENTATION BROTH BY A ROTATING CYLINDRICAL MICROFILTER. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHIRAKARN MUANGNAPOH, Dr. Eng. 229 pp. ISBN 974-636-732-3.

In this work, the effects of feed concentrations (2, 7, 10 g/l), the rotational speed of the ceramic membrane (0, 500, 900, 1200, 1500 rpm), and filtration pressures (17, 34, 44.2 and 51 kPa) on filtration were studied by using rotating filter for separating Alcaligenes eutrophus ATCC 17697 from fermentation broth. The gap between the membrane wall and the inside wall of tube is 7.25 mm. The experiments were carried out with the flowrate of fermentation broth of 0.013 cubic meter per hour. It was found that the increase in concentration of feed solution enhanced the filtration resistance due to higher membrane clogging, but the permeation flux was reduced. However, the permeation flux could be enhanced by increasing the rotational speed of the ceramic membrane, which enhanced the shear stress at the membrane surface resulting in sweeping the particles at the surface. As a result, the filtration resistance due to the membrane clogging was reduced. The increase in pressure for the non-rotating membrane system had a little effect on the permeation flux because of fast polarization. Whereas the rotating membrane filtration system could control the membrane clogging. It was also found that, for batch filtration, at the cell concentration of 2 g per litre, the rotational speed of 1500 rpm, and the pressure of 34 kPa, the cell concentration was enhanced three times within 90 minutes.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา..... 2539

ลายมือชื่อนิสิต..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายๆ ท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำในการพัฒนางานวิจัย ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สุวัฒน์ พวงเพิกศึกษ์ ประธานกรรมการ ดร.ชิตพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ และ ดร. สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้เสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ และแก้ไขเพิ่มเติมส่วนที่บกพร่องของงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ได้สนับสนุนให้ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และทุกคนในครอบครัว ที่คอยเป็นแรงบันดาลใจ เป็นกำลังใจให้ทุกเมื่อตลอดมา จนกระทั่งได้ทำงานวิจัยชิ้นนี้จนสำเร็จ

งานวิจัยชิ้นนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้เลย ถ้าปราศจาก พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ มากมายหลายคนที่ได้คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ ทุ่มเทแรงกาย แรงใจ ให้คำปรึกษา และคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ จนทำให้ผู้วิจัยทำงานชิ้นนี้ได้ลุล่วงไปด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ต
สัญลักษณ์.....	ภ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์.....	4
ขอบเขตการศึกษา.....	4
2. ตรวจสอบเอกสาร.....	5
2.1 การกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่นในกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ.....	5
2.2 กรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่นโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้.....	13
3. ทฤษฎี.....	20
3.1 การแยกสารด้วยเยื่อแผ่น.....	20
3.2 ทฤษฎีการกรอง.....	21

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เพอมีเอชันฟลักซ์.....	23
ค่ารีเจคชัน.....	26
โพลาริเซชัน.....	27
3.3 การกรองแบบไมโครฟิลเตรชันด้วยเยื่อแผ่นชนิดหมุนได้.....	31
4. อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย.....	39
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	39
4.2 เคมีภัณฑ์.....	42
4.3 เชื้อจุลินทรีย์.....	42
4.4 วิธีการทดลอง.....	43
5. ผลการทดลอง วิเคราะห์ผล และสรุปผลการทดลอง.....	46
5.1 การศึกษาผลของการกรองของน้ำกำจัดแร่ธาตุที่มีต่อเยื่อแผ่นเซรามิก.....	46
5.2 การศึกษาผลของความดันที่มีต่อการกรอง.....	49
5.3 การศึกษาผลของความเร็วยวรอบ.....	52
5.4 การศึกษาผลของความเข้มข้นเซลล์ในสายป้อน.....	58
5.5 การศึกษาเปอร์เซ็นต์การเก็บกักของการกรอง.....	60
5.6 เปรียบเทียบผลการทดลองการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่นโดยใช้เครื่องกรอง ชนิดหมุนได้กับเยื่อแผ่นชนิดอยู่กับที่.....	63



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
สรุปผลการทดลอง.....	70
ข้อเสนอแนะ.....	71
รายการอ้างอิง.....	73
ภาคผนวก.....	76
ภาคผนวก ก.....	77
ภาคผนวก ข.....	159
ภาคผนวก ค.....	177
ประวัติผู้แต่ง.....	229

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงผลการทดลองการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่นโดยใช้เครื่องกรองต่างชนิดกัน.....	15
2.2	แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกรองระหว่างเครื่องกรองชนิดหมุนได้กับการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่น.....	17
5.1	แสดงภาวะการกรองที่อัตราการป้อน 0.013 ล.บ.เมตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง	58
5.2	แสดงภาวะการกรองโดยเครื่องกรองชนิดหมุนได้กับการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่น.....	64
5.3	แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างการใช้เครื่องกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่นและการใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้.....	66
ก.1	แสดงผลการทดลองเรื่องการกรอง ที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 17 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อนาที.....	78
ก.2	แสดงผลการทดลองเรื่องการกรอง ที่ความเข้มข้นเซลล์ 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 34 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อนาที.....	80
ก.3	แสดงผลการทดลองเรื่องการกรอง ที่ความเข้มข้นเซลล์ 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 44.2 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อนาที.....	82
ก.4	แสดงผลการทดลองเรื่องการกรอง ที่ความเข้มข้นเซลล์ 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 51 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อนาที.....	84
ก.5	แสดงผลการทดลองเรื่องการกรอง ที่ความเข้มข้นเซลล์ 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 17 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 900 รอบต่อนาที.....	88
ก.6	แสดงผลการทดลองเรื่องการกรอง ที่ความเข้มข้นเซลล์ 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 34 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 900 รอบต่อนาที.....	90



สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.19	แสดงผลการทดลองเรื่องการกรอง ที่ความเข้มข้นเซลล์ 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 44.2 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคดนิ่ง.....	122
ก.20	แสดงผลการทดลองเรื่องการกรอง ที่ความเข้มข้นเซลล์ 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 51 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคดนิ่ง.....	124
ก.21	แสดงปริมาณเพอมีเอชันฟลักซ์สะสม ที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ที่ความดันต่างๆ โดยที่เยื่อแผ่นหุคดนิ่ง.....	127
ก.22	แสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์รีเจคชัน ที่ความเข้มข้นเซลล์ 2 กรัมต่อลิตร ที่ความดันต่าง ๆ.....	129
ก.23	แสดงผลการทดลองเรื่องการกรอง ที่ความเข้มข้นเซลล์ 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 17 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคด 1200 รอบต่อนาที.....	133
ก.24	แสดงปริมาณเพอมีเอชันฟลักซ์และปริมาณเพอมีเอชันฟลักซ์สะสม ที่ความเข้มข้นเซลล์ 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 17 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคด 1200 รอบต่อนาที.....	134
ก.25	แสดงผลการทดลองเรื่องการกรอง ที่ความเข้มข้นเซลล์ 10 กรัมต่อลิตร ความดัน 17 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคด 1200 รอบต่อนาที.....	136
ก.26	แสดงปริมาณเพอมีเอชันฟลักซ์และปริมาณเพอมีเอชันฟลักซ์สะสม ที่ความเข้มข้นเซลล์ 10 กรัมต่อลิตร ความดัน 17 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคด 1200 รอบต่อนาที.....	137
ก.27	แสดงผลการทดลองเรื่องการกรอง ที่ความเข้มข้นเซลล์ 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 17 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคด 1500 รอบต่อนาที.....	139
ก.28	แสดงผลการทดลองเรื่องการกรอง ที่ความเข้มข้นเซลล์ 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 34 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคด 1500 รอบต่อนาที.....	141
ก.29	แสดงปริมาณเพอมีเอชันฟลักซ์ ที่ความดันต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นเซลล์ 7 กรัมต่อลิตร โดยที่เยื่อแผ่นหุคด 1500 รอบต่อนาที.....	143

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.30	แสดงปริมาณเพอมีเอชันฟลักซ์สะสม ที่ความดันต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นเซลล์ 7 กรัมต่อลิตร โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 1500 รอบต่อนาที.....	145
ก.31	แสดงผลการทดลองเรื่องการกรอง ที่ความเข้มข้นเซลล์ 10 กรัมต่อลิตร ความดัน 17 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 1500 รอบต่อนาที.....	147
ก.32	แสดงผลการทดลองเรื่องการกรอง ที่ความเข้มข้นเซลล์ 10 กรัมต่อลิตร ความดัน 34 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 1500 รอบต่อนาที.....	149
ก.33	แสดงปริมาณเพอมีเอชันฟลักซ์ ที่ความดันต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นเซลล์ 10 กรัมต่อลิตร โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 1500 รอบต่อนาที.....	151
ก.34	แสดงปริมาณเพอมีเอชันฟลักซ์ สะสมที่ความดันต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นเซลล์ 10 กรัมต่อลิตร โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 1500 รอบต่อนาที.....	153
ก.35	แสดงผลการทดลองเรื่องการกรองชนิดมีการเวียนกลับ ที่ความเข้มข้นเซลล์ 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 34 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 1500 รอบต่อ นาที.....	156
ข.1	แสดงคุณลักษณะของเครื่องกรองชนิดหมุนได้.....	161
ค.1	แสดงผลการทดลองที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ที่ความดันต่าง ๆ โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	178
ค.2	แสดงผลการทดลองที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ที่ความดันต่าง ๆ โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อนาที.....	186
ค.3	แสดงผลการทดลองที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ที่ความดันต่าง ๆ โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	195
ค.4	แสดงผลการทดลองที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ที่ความดันต่าง ๆ โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อนาที.....	203
ค.5	แสดงผลการทดลองที่ความเข้มข้น 4.5 กรัมต่อลิตร ที่ความดันต่าง ๆ โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	212

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค.6	แสดงผลการทดลองที่ความเข้มข้น 4.5 กรัมต่อลิตร ที่ความดันต่างๆ โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อนาที.....	220

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นที่ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์.....	9
2.2	แสดงลักษณะการหมุนวนของเทย์เลอร์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ .	16
3.1	แบบจำลองการกรอง.....	22
3.2	การกรองแบบไหลผ่านเยื่อแผ่นและการกรองแบบไหลขนานเยื่อแผ่น.....	22
3.3	แสดงรูปแบบการเกิดการอุดตันของอนุภาคบนผิวเยื่อแผ่น.....	25
3.4	แสดงภาพคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันและเจลาโพลาไรเซชัน.....	28
3.5	แสดงช่วงของค่าฟลักซ์ไม่ขึ้นกับความดัน.....	31
3.6	ช่วงความสามารถในการกรองอนุภาคของการกรองด้วยเยื่อแผ่นแบบต่างๆ..	32
3.7	แสดงลักษณะของเครื่องกรองชนิดหมุนได้.....	33
3.8	แสดงรูปแบบการไหลของสารละลายระหว่างเยื่อแผ่นและท่อทรงกระบอก...	34
3.9	แสดงลักษณะการหมุนวนของเทย์เลอร์.....	35
4.1	แสดงภาพถ่ายของเครื่องกรองชนิดหมุนได้.....	41
4.2	แสดงภาพถ่ายของเยื่อแผ่นเซรามิก.....	41
4.3	แผนภาพชุดเครื่องมือการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่นโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้.....	44
5.1	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ของน้ำกำจัดแร่ธาตุกับความดัน.....	47
5.2	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์กับความดันที่ความเร็วรอบต่าง ๆ.....	51
5.3	แสดงค่าอัตราเฉือน ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์และเพอมีเอชันฟลักซ์ที่ความเร็วรอบต่างๆ ที่ความเข้มข้นเซลล์ 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 34 กิโลปาสกาล...	53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.4	แสดงค่าความต้านทานการกรองกับความเร็วรอบ ที่ความดันต่าง ๆ.....	55
5.5	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ที่ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นเซลล์ 2 กรัมต่อลิตร และความดัน 34 กิโลปาสคาล.....	56
5.6	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ที่ความดันต่าง ๆ เมื่อใช้ความเข้มข้นเซลล์ต่าง 2 กรัมต่อลิตร.....	57
5.7	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาทีความดัน 34 กิโลปาสคาล.....	59
5.8	แสดงค่าความต้านทานการกรองที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	61
5.9	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น เซลล์ 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 34 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 1500 รอบต่อนาที และมีการเวียนเซลล์กลับ.....	62
5.10	แสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง ค่าเพอมี เอช นฟลักซ์ กับ ค่า อัตราการ เยื่อน.....	67
5.11	แสดงแผนภาพการกรองแบบไหลขนานกับเยื่อแผ่นที่มีกระบวนการหมักจริง	68
5.12	แสดงการนำเครื่องกรองชนิดหมุนได้มาประยุกต์ใช้แทนเครื่องกรองชนิดไหล ขนาน.....	69
ก.1	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 17 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อนาที	79
ก.2	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 34 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อนาที	81
ก.3	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 44.2 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อ นาที.....	83



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก.4	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 51 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 500 รอบต่อนาที	85
ก.5	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ที่ความดันต่างๆ โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 500 รอบต่อนาที.....	86
ก.6	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์สะสมต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ที่ความดัน ต่างๆ โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 500 รอบต่อนาที.....	87
ก.7	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 17 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 900 รอบต่อนาที	89
ก.8	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 34 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 900 รอบต่อนาที	91
ก.9	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 44.2 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 900 รอบต่อ นาที.....	93
ก.10	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 51 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 900 รอบต่อนาที	95
ก.11	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดันต่างๆ โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 900 รอบต่อนาที.....	96
ก.12	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์สะสมต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดันต่างๆ โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 900 รอบต่อนาที.....	97
ก.13	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 17 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 1200 รอบต่อนาที	99
ก.14	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 34 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 1200 รอบต่อนาที	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก.15	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 44.2 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 1200 รอบต่อ นาที.....	103
ก.16	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตรความดัน 51 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 1200 รอบต่อนาที	105
ก.17	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตรความดัน ต่างๆ โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 1200 รอบต่อนาที.....	106
ก.18	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์สะสมต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตรความ ดันต่างๆ โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 1200 รอบต่อนาที.....	107
ก.19	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตรความดัน 17 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 1500 รอบต่อนาที	109
ก.20	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตรความดัน 34 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 1500 รอบต่อนาที	111
ก.21	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 44.2 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 1500 รอบต่อ นาที.....	113
ก.22	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตรความดัน 51 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 1500 รอบต่อนาที	115
ก.23	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตรความดัน ต่างๆ โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 1500 รอบต่อนาที.....	116
ก.24	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์สะสมที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดันต่างๆ โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 1500 รอบต่อนาที.....	117
ก.25	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตรความดัน 17 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	119

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก.26	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 34 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคดนิ่ง.....	121
ก.27	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 44.2 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคดนิ่ง.....	123
ก.28	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 51 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคดนิ่ง.....	125
ก.29	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดันต่างๆ โดยที่เยื่อแผ่นหุคดนิ่ง.....	126
ก.30	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์สะสมต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดันต่างๆ โดยที่เยื่อแผ่นหุคดนิ่ง.....	128
ก.31	แสดงการเปรียบเทียบค่ารีเจคชันที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดันต่างๆ.....	130
ก.32	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ ที่ความดันต่าง ๆ.....	131
ก.33	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์กับความเร็วยรอบ ที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร.....	132
ก.34	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 17 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคด 1200 รอบต่อ นาที.....	135
ก.35	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ความดัน 17 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคด 1200 รอบต่อ นาที.....	138
ก.36	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 17 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคด 1500 รอบต่อ นาที.....	140

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก.37	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซนตริเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 34 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 1500 รอบต่อ นาที้.....	142
ก.38	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ต่อเวลาที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 17 และ 34 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 1500 รอบต่อ นาที้.....	144
ก.39	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์สะสมต่อเวลาที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 17 และ 34 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 1500 รอบต่อ นาที้.....	146
ก.40	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซนตริเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ความดัน 17 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 1500 รอบต่อ นาที้.....	148
ก.41	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซนตริเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ความดัน 34 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 1500 รอบต่อ นาที้.....	150
ก.42	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ต่อเวลาที่ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ความดัน ต่างๆ โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 1500 รอบต่อ นาที้.....	152
ก.43	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์สะสมต่อเวลาที่ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ความดันต่างๆ โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 1500 รอบต่อ นาที้.....	154
ก.44	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ต่อเวลาที่ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ความเร็ว รอบต่างๆ โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 1500 รอบต่อ นาที้.....	155
ก.45	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซนตริเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 34 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 1500 รอบต่อ นาที้ และมีการเวียนเซลล์กลับ.....	158
ข.1	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ของน้ำกำจัดแร่ธาตุกับความดัน.....	163

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ข.2	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์กับความดันที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ความเร็วรอบต่าง ๆ.....	164
ข.3	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ความเร็วรอบ 500 รอบต่อวินาทีความดัน 59.9 กิโลปาสคาล.....	168
ข.4	แสดงเพอมีเอชันฟลักซ์ และค่าความต้านทานการกรองกับความเข้มข้น.....	169
ข.5	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 59.9 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อวินาที .....	171
ข.6	แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้ง.....	176
ค.1	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 10.2 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	179
ค.2	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 19.7 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	180
ค.3	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 29.9 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	181
ค.4	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 40.1 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	182
ค.5	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 50.3 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	183
ค.6	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 59.9 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	184
ค.7	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ต่อเวลา ที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	185

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ค.8	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 10.2 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อ นาที.....	187
ค.9	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 19.7 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อ นาที.....	188
ค.10	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 29.9 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อ นาที.....	189
ค.11	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 40.1 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อ นาที.....	190
ค.12	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 50.3 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อ นาที.....	191
ค.13	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร ความดัน 59.9 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อ นาที.....	192
ค.14	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ต่อเวลา ที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อนาที.....	193
ค.15	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ต่อความดัน ที่ความเข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร.....	194
ค.16	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 10.2 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	196

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ค.17	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 19.7 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคดนิ่ง.....	197
ค.18	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 29.9 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคดนิ่ง.....	198
ค.19	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 40.1 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคดนิ่ง.....	199
ค.20	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 50.3 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคดนิ่ง.....	200
ค.21	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 59.9 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุคดนิ่ง.....	201
ค.22	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ต่อเวลา ที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร โดยที่เยื่อแผ่นหุคดนิ่ง.....	202
ค.23	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 10.2 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อ นาที.....	204
ค.24	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 19.7 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อ นาที.....	205
ค.25	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 29.9 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อ นาที.....	206
ค.26	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 40.1 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อ นาที.....	207

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ค.27	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 50.3 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อ นาที.....	208
ค.28	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ความดัน 59.9 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อ นาที.....	209
ค.29	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ต่อเวลา ที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร โดยที่เยื่อแผ่นหมุน 500 รอบต่อนาที.....	210
ค.30	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ต่อความดัน ที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร.....	211
ค.31	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 4.5 กรัมต่อลิตร ความดัน 10.2 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	213
ค.32	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 4.5 กรัมต่อลิตร ความดัน 19.7 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	214
ค.33	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 4.5 กรัมต่อลิตร ความดัน 29.9 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	215
ค.34	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 4.5 กรัมต่อลิตร ความดัน 40.1 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	216
ค.35	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 4.5 กรัมต่อลิตร ความดัน 50.3 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	217
ค.36	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 4.5 กรัมต่อลิตร ความดัน 59.9 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	218
ค.37	แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ต่อเวลา ที่ความเข้มข้น 4.5 กรัมต่อลิตร โดยที่เยื่อแผ่นหยุดนิ่ง.....	219



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.38 แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 4.5 กรัมต่อลิตร ความดัน 10.2 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 500 รอบต่อนาที.....	221
ค.39 แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 4.5 กรัมต่อลิตร ความดัน 19.7 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 500 รอบต่อนาที.....	222
ค.40 แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 4.5 กรัมต่อลิตร ความดัน 29.9 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 500 รอบต่อนาที.....	223
ค.41 แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 4.5 กรัมต่อลิตร ความดัน 40.1 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 500 รอบต่อนาที.....	224
ค.42 แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 4.5 กรัมต่อลิตร ความดัน 50.3 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 500 รอบต่อนาที.....	225
ค.43 แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์และเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่อเวลาที่ความเข้มข้น 4.5 กรัมต่อลิตร ความดัน 59.9 กิโลปาสคาล โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 500 รอบต่อนาที.....	226
ค.44 แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ต่อเวลาที่ความเข้มข้น 4.5 กรัมต่อลิตร โดยที่เยื่อแผ่นหุ้ม 500 รอบต่อนาที.....	227
ค.45 แสดงค่าเพอมีเอชันฟลักซ์ต่อความดัน ที่ความเข้มข้น 4.5 กรัมต่อลิตร.....	228

## สัญลักษณ์

A	=	พื้นที่ผิวของเยื่อแผ่น (ตารางเมตร)
C	=	ความเข้มข้นของสารละลาย (กรัมต่อลิตร)
C <sub>b</sub>	=	ความเข้มข้นของสารละลายในระบบ (กรัมต่อลิตร)
C <sub>g</sub>	=	ความเข้มข้นของเจล (กรัมต่อลิตร)
C <sub>p</sub>	=	ความเข้มข้นของสารละลายในพอลิเมอร์ (กรัมต่อลิตร)
C <sub>w</sub>	=	ความเข้มข้นของสารละลายที่ผิวเยื่อแผ่น (กรัมต่อลิตร)
d <sub>h</sub>	=	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (เมตร)
D	=	สัมประสิทธิ์การแพร่ (ตารางเมตรต่อวินาที)
J	=	พอลิเมอร์ฟลักซ์ (ล.บ. เมตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง)
K	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (เมตรต่อวินาที)
n	=	จำนวนรอบการหมุนของมอเตอร์ (รอบต่อนาที)
P <sub>i</sub>	=	ความดันขาเข้าของสารละลาย (กิโลปาสคาล)
P <sub>o</sub>	=	ความดันขาออกของสารละลาย (กิโลปาสคาล)
P <sub>f</sub>	=	ความดันด้านสารละลายพอลิเมอร์ (กิโลปาสคาล)
R	=	รีเจคชัน (-)
R <sub>a</sub>	=	ความต้านทานเนื่องจากการดูดซับ (ต่อเมตร)
R <sub>cp</sub>	=	ความต้านทานเนื่องจากการเกิดโพลาไรเซชัน (ต่อเมตร)

## สัญลักษณ์ (ต่อ)

$R_f$	=	ความต้านทานเนื่องจากการเกิดสเกล (ต่อเมตร)
$R_g$	=	ความต้านทานเนื่องจากการเกิดเจลโพลาริเซชัน (ต่อเมตร)
$R_m$	=	ความต้านทานการกรองของเยื่อแผ่น (ต่อเมตร)
$R_p$	=	ความต้านทานการกรองเนื่องจากเกิดโพลาริเซชัน (ต่อเมตร)
$R_{pp}$	=	ความต้านทานการกรองเนื่องจากการอุดตันรูพรุน (ต่อเมตร)
$R_t$	=	ความต้านทานรวม (ต่อเมตร)
$R_1$	=	รัศมีของเยื่อแผ่นเซรามิก (เมตร)
$R_2$	=	รัศมีภายในของท่อทรงกระบอก (เมตร)
$Re_a$	=	ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ตามแนวแกน (-)
$Re_t$	=	ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ที่ผิวของเยื่อแผ่น (-)
$T_a$	=	ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ (-)
$T_{a,crit}$	=	ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์วิกฤต (-)
$\Delta$	=	ระยะห่างของผิวเยื่อแผ่นกับผนังท่อทรงกระบอกด้านใน (เมตร)
$\Delta P$	=	ผลต่างของความดันขาเข้าและขาออกของสารละลาย (กิโลปาสคาล)
$\Delta P_{TM}$	=	ผลต่างความดันที่ผิวเยื่อแผ่นด้านสารละลายป้อนกับเพอมีเอท (กิโลปาสคาล)
$\rho$	=	ความหนาแน่นของสารละลาย (กิโลกรัมต่อล.บ.เมตร)

## สัญลักษณ์ (ต่อ)

$\sigma$	=	สัมประสิทธิ์แรงเค้น (-)
$v$	=	ความเร็วของสารละลาย (เมตรต่อวินาที)
$\mu$	=	ความหนืดของสารละลาย (กิโลกรัมต่อเมตร-วินาที)
$\tau$	=	แรงเฉือนที่ผิวเยื่อแผ่น (ต่อวินาที)
$\omega$	=	ความเร็วเชิงมุม (ต่อนาที)
$U$	=	ความหนืดคิเนมาติก (ตารางเมตรต่อวินาที)